

## ביולוגיה חישובית – מטלה 1 – אוטומט תאי – דו"ח תרגיל

שלומי בן שושן, ת"ז 311408264 | איתמר לרדו, ת"ז 311547087

### תקציר

אחת התופעות המעניינות במגפות, כדוגמת מחלת הקורונה, היא הופעתם של "גלים" של המחלה. דו"ח זה מתאר בקצרה את פרטי המימוש של אוטומט תאי שמסייע במציאת תנאים בהם יכולה להיווצר תופעה מעין זו. כמו כן, הדו"ח מתעד ניסויים נבחרים שנעשו באמצעות האוטומט, מהם ניתן ללמוד משמעויות ולהסיק מסקנות.

### מימוש אוטומט תאי

מודל האוטומט: אוטומט דו-ממדי בגודל  $200 \times 200$  מסוג Wrap-Around.

#### כללי עדכון:

1. תנועה: היצורים נעים באופן רנדומי. בכל דור כל יצור יכול לעבוד לאחד משמונת התאים השכנים שלו או להישאר במקומו בהסתברות שווה לכל אחת מ-9 האפשרויות הללו. אחוז מסוים מהיצורים נעים מהר יותר ונעים עשרה צעדים בכל דור (במקום צעד יחיד).

2. תחלואה: במצב בו יצור נמצא בתא בשכנות לתא בו יש יצור נגוע, קיימת הסתברות להדבקה. הסתברות זו תלויה בסף (threshold). במידה ומספר הנגועים נמוך מהסף, ההסתברות להדבקה תינתן ע"י  $P_{high}$ . אחרת, מניחים שהיצורים נוקטים משני זהירות, ולכן ההסתברות להדבקה תינתן ע"י  $P_{low} \leq P_{high}$ . יצור נגוע מבריא לאחר מספר קבוע של דורות (ימים). יצור נגוע לא יכול להידבק, כלומר במידה ונחשף ליצור נגוע אחר, מספר הדורות שנותרו להחלמה לא עולה.

מנגנון מניעת התנגשויות: באתחול של ניסוי התוכנית מגרילה מיקומים שונים עבור כל יצור ומציבה אותו באוטומט. לאחר מכן, בכל מעבר של יצור לתא חדש (לאחר שהגריל מיקום חדש), היצור בודק האם התא מאוכלס. במידה ולא, עובר אליו. במידה וכן, מנסה להגריל שוב מיקום אחר מתשעת המיקומים האפשריים. היצור חוזר על התהליך 5 פעמים, ובמידה ולא הצליח למצוא מקום לנוע אליו, יישאר במקום. התוכנית עוברת על כל היצורים הקיימים ומבצעת פעולת הזזה עבור כל אחד מהם בצורה סדרתית, כך שלא יכולות להיות התנגשויות.

#### פרמטרים:

1.  $N \in [1, 40000] \subseteq \mathbb{N}$ , מספר היצורים שניתן לאכלס באוטומט.
2.  $D \in [0, 1] \subseteq \mathbb{R}$ , אחוז היצורים (מתוך  $N$ ) שמוגרלים להיות נגועים במצב ההתחלתי של האוטומט.
3.  $R \in [0, 1] \subseteq \mathbb{R}$ , אחוז היצורים שמוגרלים להיות מהירים יותר.
4.  $X \in [0, \infty) \subseteq \mathbb{N}$ , מספר הימים להחלמה.
5.  $P_{high} \in [0, 1] \subseteq \mathbb{R}$ , הסתברות לתחלואה של יצור ברגע שנחשף לתא שכן בו יש יצור נגוע.
6.  $P_{low} \in [0, 1] \subseteq \mathbb{R}$ , הסתברות לתחלואה לאחר שמספר הנגועים חצה את ה-threshold.
7.  $T \in [0, 1] \subseteq \mathbb{R}$ , אחוז היצורים שאם מספר הנדבקים גבוה ממנו, משתמשים בהסתברות  $P_{low}$ .

מימוש תכנותי: האוטומט מומש בשפת Python 3.8 תוך שימוש בספרייה random עבור אקראיות, ובחבילות tkinter עבור יצירת אפליקציה ו-matplotlib עבור הפקת גרפים. התוכנית מחולקת באופן הבא:

1. main.py – נקודת ההתחלה של התוכנית.

2. app.py – מימוש צד האפליקציה של התוכנית (בעיקר frontend).

3. automata.py – מימוש האוטומט התאי, התא והיצור (בקירוב backend).

4. state.py – קובץ עזר להגדרת מצבים של אוטומט לפי State Design Pattern.

5. style.py – קובץ עזר להגדרות צבעים וגופנים.

## הוראות הפעלה

ניתן להריץ את התוכנית בקלות באמצעות קובץ ה-exe המצורף לפתרון. במידה וישנה תקלה, קוד התוכנית מצורף גם הוא לפתרון. ניתן להריץ אותו באמצעות הקובץ main.py, ולשם כך יש לוודא שמותקנת על המכונה שפת Python גרסה 3.8 ומעלה, וכמו כן שמותקנות החבילות tkinter ו-matplotlib. לאחר מכן, נווטו לתיקיית התוכנית והשתמשו בפקודה:

```
python3 main.py
```

לאחר תחילת הרצת התוכנית ייפתח חלון האפליקציה. שימו לב שרזולוציית החלון היא 1100x830, ועל כן הגדרות התצוגה של המכונה צריכות להיות בהתאם (מבחינת רזולוציה ו-scaling). בחלון שנפתח ניתן להגדיר את הפרמטרים של הניסוי בצד שמאל למעלה, תחת הכותרת Configuration. לאחר בחירת הפרמטרים, ניתן להריץ את הניסוי ע"י לחיצה על הכפתור Start. ניתן להשהות ולעצור את הריצה באמצעות הכפתורים Pause ו-Stop בהתאמה, וכמו כן ניתן להגביל את מספר הדורות בניסוי. בסוף הניסוי, יוצג גרף שמתאר את מספר הנגועים לכל דור. ניתן לקבל מידע אודות הדור הנוכחי תחת הכותרת Information.

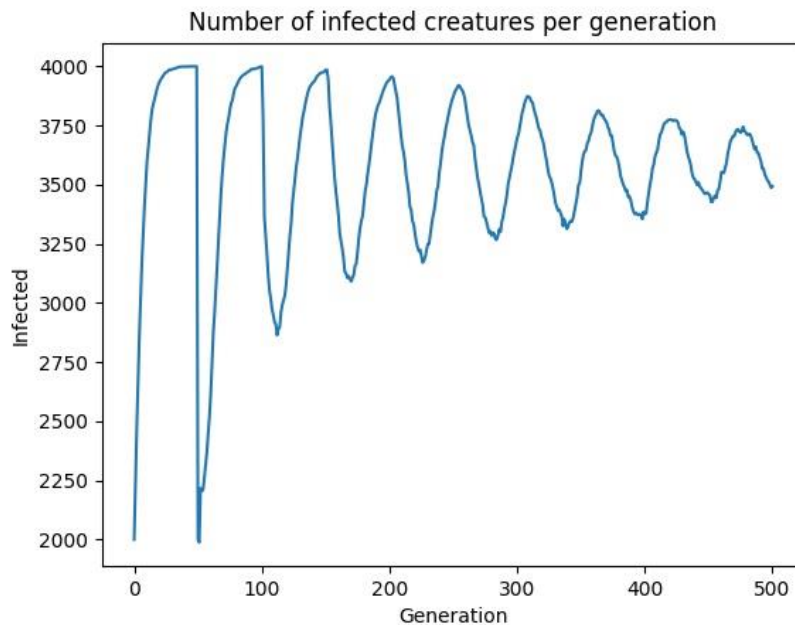
## תוצאות המחקר

תחילה, נקבעה קונפיגורציית *baseline* שגורמת לתופעת הגלים באוטומט. קונפיגורציה זו נמצאה על סמך ניסוי וטעיה. במהלך המחקר, נבדקו ההשפעות של פרמטרים שונים על אותם גלים, והוסקו מסקנות. בכל שלב בניסוי, נעשו מספר שינויים בפרמטר אחד בלבד, ונבחנו השינויים בהופעת הגלים. הפרמטרים שנבדקו הם מספר היצורים  $N$ , אחוז החולים ההתחלתי  $D$ , אחוז היצורים המהירים  $R$ , מספר ימי ההחלמה  $X$ , וגובה הסף להחלפת הסתברות  $T$ .

קונפיגורציית *baseline*:

$$baseline = (N = 4000, D = 0.5, R = 0.5, X = 50, P_{high} = 0.7, P_{low} = 0.3, T = 0.5)$$

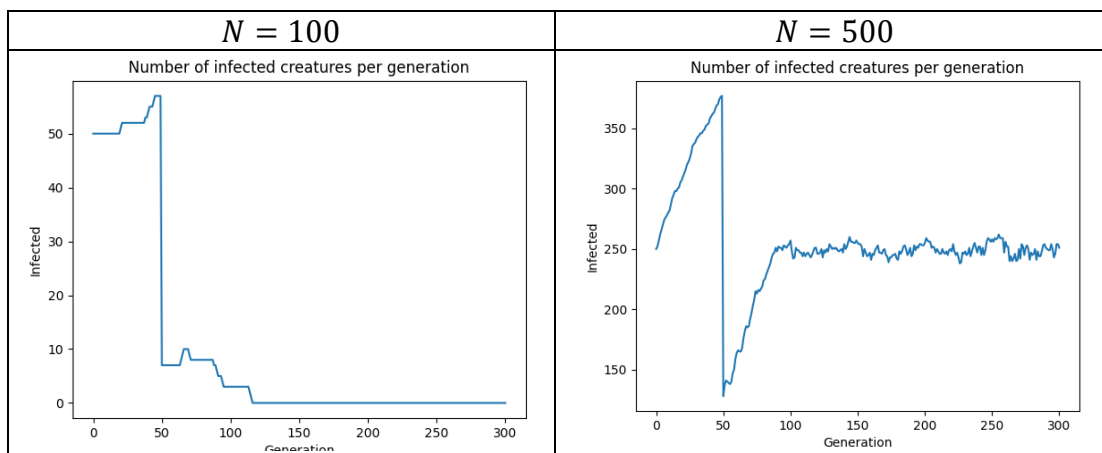
תוצאת ריצת האוטומט בקונפיגורציית *baseline* במשך 500 דורות :

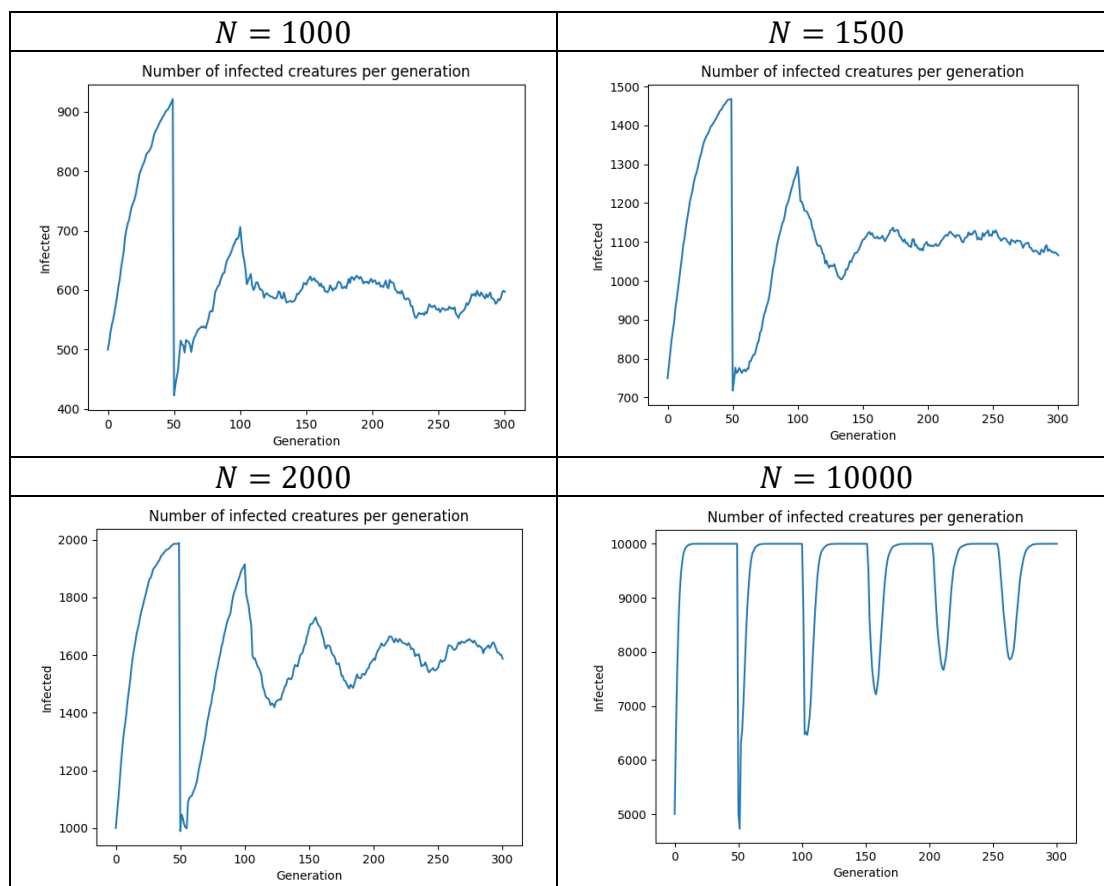


ניתן לראות את גלי המחלה בבירור. כמו כן, ניתן להסביר את הגלים ע"י כך שמגיע שלב מסוים בו כל היצורים חולים, ומכיוון שמספר ימי המחלקה הוא 50, לאחר 50 ימים מתקבלת "צניחה" במספר החולים, ואז שוב מתחילה עליה. לאחר הצניחה לא כל היצורים מבריאים, שכן יש כאלה שחלו רק מספר ימים לפני. כעת, על-בסיס קונפיגורציית *baseline* זו, ניתן להתמקד בכל פעם בפרמטר אחד, ולבדוק עבור אילו ערכים שלו מתקבלים שינויים בגלים או היעלמויות שלהם.

#### מספר היצורים

- שאלת מחקר : מהי השפעת צפיפות האוכלוסייה (שינויים ב- $N$ ) על הופעת הגלים?
- מהלך הניסוי : נדגום  $N \in [100, 500, 1000, 1500, 2000, 10000]$  במשך 300 דורות.
- תוצאות :



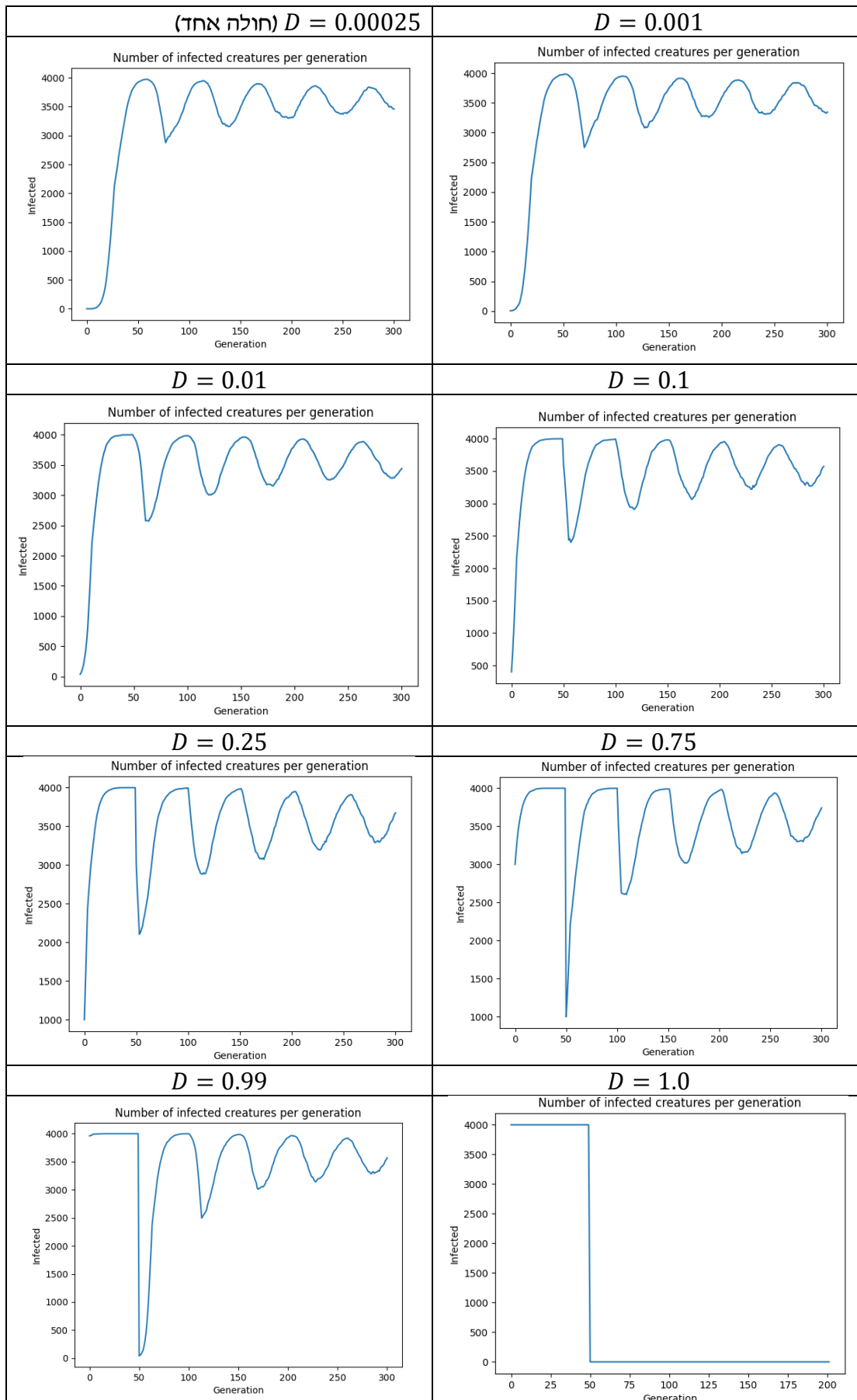


ניתן לראות כיצד תופעת הגלים הולכת ומתעצבת ככל שאוכלוסיית האוטומט גדלה (גודל האוטומט נשאר קבוע, ולכן הצפיפות גדלה). ניתן לראות שעבור  $N = 1000$  או  $N = 1500$  ישנם שני גלים משמעותיים ולאחר מכן המערכת פחות או יותר מתייצבת (יש "גלים נמוכים"), אבל ב- $N = 2000$  כבר ניתן להבחין בגלים של ממש (שגם הם הולכים ופוחתים לאט). גם עבור  $N$  גדול יותר, יהיו באוטומט גלים, למשל עבור  $N = 4000$  מה-*baseline* ועבור  $N = 10000$ .

- **מסקנות:** ככל שצפיפות האוכלוסייה גבוהה יותר, כך תופעת הגלים רווחת יותר. כדי להימנע מתופעת הגלים, צפיפות האוכלוסייה צריכה להיות נמוכה מ- $\frac{1}{4} = \frac{1000}{40000}$ . בנוסף, כאשר הצפיפות גבוהה מאוד, רוב הזמן רוב היצורים חולים.

### אחוז החולים ההתחלתי

- **שאלת מחקר:** מהי השפעת מספר החולים ההתחלתי (שינויים ב- $D$ ) על הופעת הגלים?
- **מהלך הניסוי:** נדגום  $D \in [0.001, 0.01, 0.1, 0.25, 0.75, 1]$  במשך 300 דורות.



ניתן לזהות תופעה מעניינת ואף מפתיעה. לא נמצא  $D$  עבורו תופעת הגלים נעלמת, פרט ל- $D = 1$ . גם במקרה בו  $D = 0.00025$ , כלומר כשיש חולה אחד בלבד בתחילת הסימולציה, מתקבלים גלים. ניתן לראות שברוב המקרים יש גל החלמה משמעותי, ולאחר מכן גלי ההחלמה הולכים ומתמתנים. המצב היחיד בו אין גלים, ולמעשה המחלה נעלמת, הוא כאשר מההתחלה כל האוכלוסייה חולה. במצב זה, לאחר  $X$  דורות כולם מבריאים יחד והמחלקה נעלמת, שכן בדור ה- $X + 1$  אין יצור חולה שעלול להדביק אחרים.

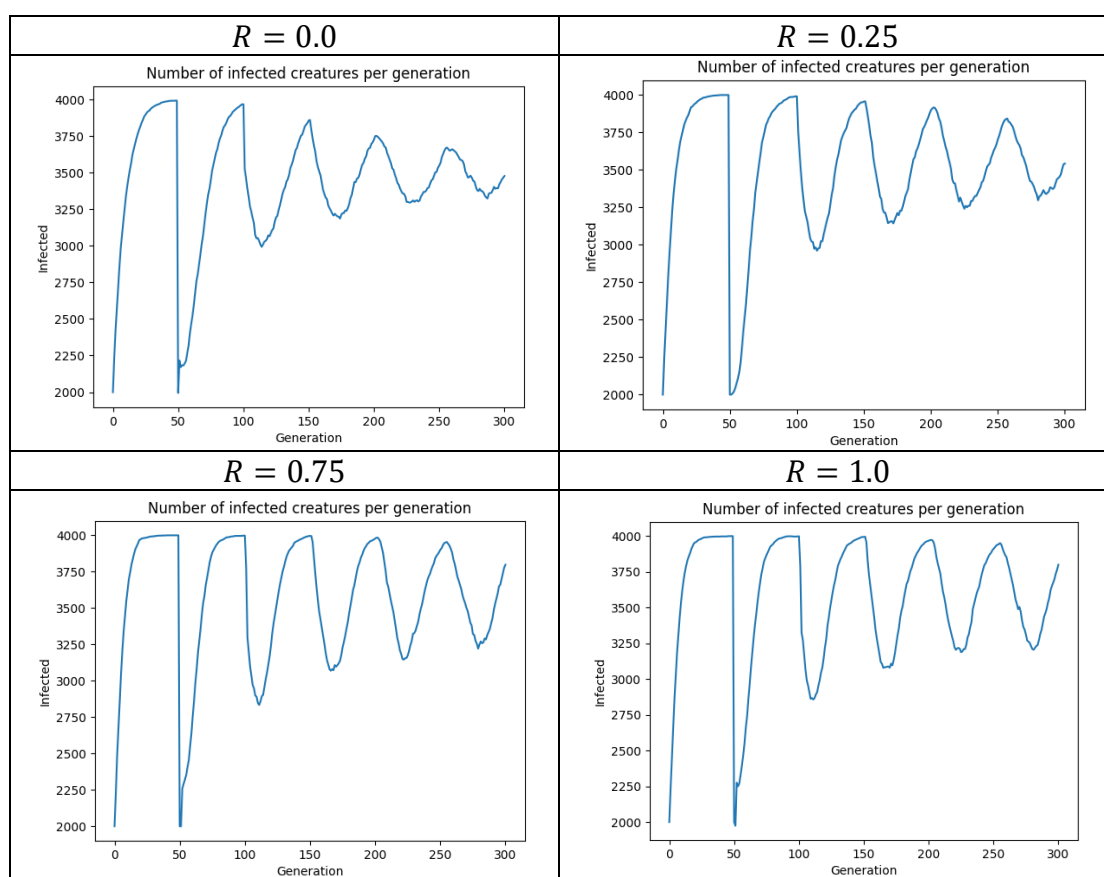
- **מסקנות:** מספר החולים הראשוני היחיד שיכול למנוע את תופעת הגלים הוא  $D = 1$ . מכיוון שמצב זה לא ישים בכל תרחיש סביר של מגפה, אין טעם לנסות להשפיע על  $D$  כדי למנוע גלים (לפחות לא ביחס לקונפיגורציית ה-baseline).

### אחוז היצורים המהירים

- **שאלת מחקר:** מהי השפעת מספר היצורים המהירים (שינויים ב- $R$ ) על הופעת הגלים?

- **מהלך הניסוי:** נדגום  $R \in [0, 0.25, 0.75, 1]$  במשך 300 דורות.

- **תוצאות:**

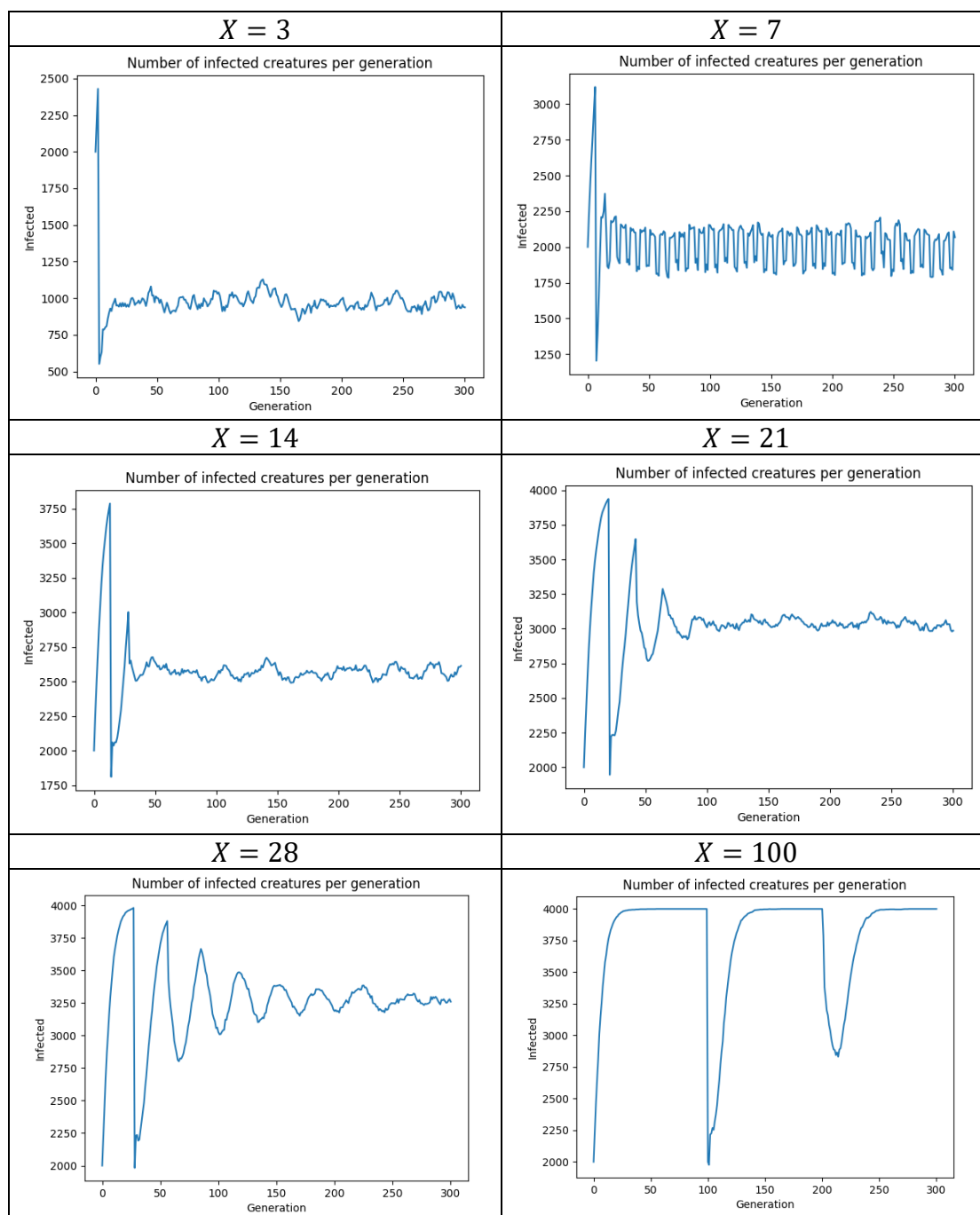


בסך הכל התקבלו גרפים דומים, אך ייתכן שיש ל- $R$  השפעה על התייצבות המערכת, שכן כאשר  $R$  נמוך ניתן לזהות התחלה של התייצבות לאחר 200 דורות, ולעומת זאת כאשר  $R$  גבוה ניתן לזהות גלים בגבהים דומים גם לאחר 200 דורות.

- **מסקנות:** ייתכן שנוכחותם של יצורים מהירים באוטומט גורמת למערכת להתייצב לאט יותר.

## מספר הימים להבראה

- שאלת מחקר: מהי השפעת מספר הימים להבראה על הופעת הגלים?
- מהלך הניסוי: נדגום  $X \in [1, 3, 7, 14, 21, 28, 100]$  במשך 300 דורות.
- תוצאות:



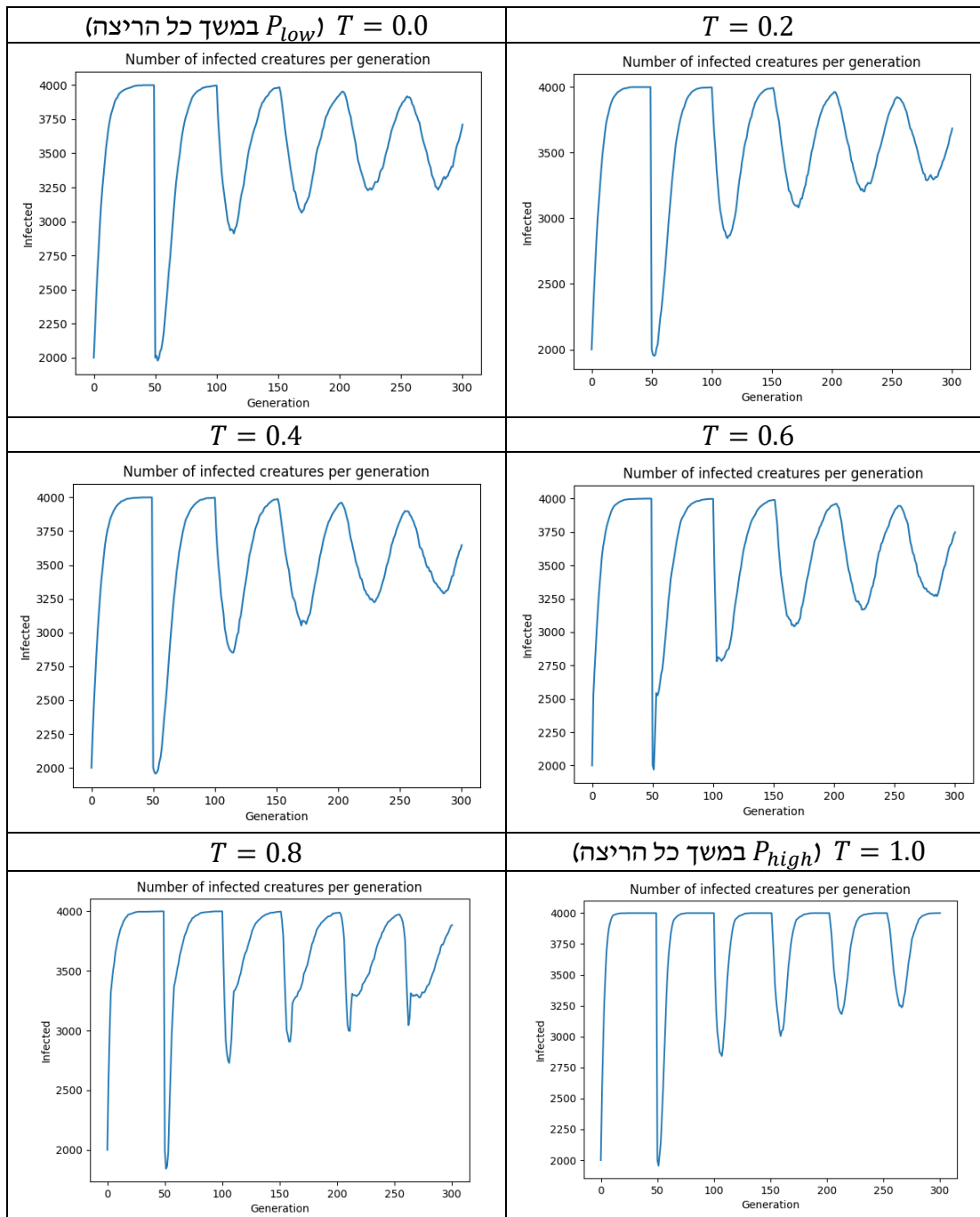
ניתן לראות בבירור כיצד תופעת הגלים הולכת ומתעצבת ככל ש- $X$  גדל. כאשר  $X = 28$ , ניתן כבר

לזהות חזרה של גלים לאורך זמן. בנוסף, עבור  $X$  גבוה יותר ניתן לזהות משך גל ארוך יותר.

- מסקנות: ככל שמספר ימי המחלה גבוה יותר, כך במערכת יופיעו גלים שנמשכים זמן רב יותר.

## אחוז הסף (Threshold)

- שאלת מחקר: מהי השפעת גובה הסף על הופעת הגלים?
- מהלך הניסוי: נדגום  $T \in [0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1]$  במשך 300 דורות.
- תוצאות:



ככל ש- $T$  גבוה יותר, כך היצורים נדבקים יותר בהסתברות  $P_{high}$ . לכן, היצורים נדבקים מהר יותר וכתוצאה מכך הגלים מגיעים מהר יותר לשיאם.

- מסקנות: גובה הסף משפיע על תלילות הגל. כלומר, ככל שגובה הסף גבוה יותר, כך גלי המחלה מגיעים מהר יותר לשיאם. לכן, סף נמוך עשוי להקל על התפשטות המחלה, אך לא על הופעת הגלים.



## סיכום

בפתרון זה לתרגיל הוצע מימוש עבור אוטומט תאי שמסייע במציאת תנאים בהם יכולה להיווצר תופעת הגלים הנפוצה בקרב מגפות כגון מחלת הקורונה. באמצעות אוטומט זה נערכו סדרה של ניסויים שמטרתם לזהות השפעות של שינויים בפרמטרים על תופעת הגלים ביחס לגלים הנוצרים קונפיגורציית *baseline* שעשויה לתאר מגפה כלשהי.

### מסקנות מניסויים :

1. מספר היצורים : ככל שצפיפות האוכלוסייה גבוהה יותר, כך תופעת הגלים רווחת יותר. כדי להימנע מתופעת הגלים, צפיפות האוכלוסייה צריכה להיות נמוכה מ- $\frac{1}{4} = \frac{1000}{40000}$ . בנוסף, כאשר הצפיפות גבוהה מאוד, רוב הזמן רוב היצורים חולים.
2. אחוז החולים ההתחלתי : ביחס לקונפיגורציית ה-*baseline*, מספר החולים הראשוני לא משפיע על הופעת הגלים (למעט כאשר  $D = 1$ , תרחיש לא סביר).
3. אחוז היצורים המהירים : ייתכן שנוכחותם של יצורים מהירים באוטומט גורמת למערכת להתייצב לאט יותר.
4. מספר הימים להבראה : ככל שמספר ימי המחלה גבוה יותר, כך במערכת יופיעו גלים שנמשכים זמן רב יותר.
5. גובה הסף : גובה הסף משפיע על תלילות הגל. כלומר, ככל שגובה הסף גבוה יותר, כך גלי המחלה מגיעים מהר יותר לשיאם. לכן, סף נמוך עשוי להקל על התפשטות המחלה, אך לא על הופעת הגלים.